

# C-N코팅 SCM15鋼의 摩擦·磨耗 特性에 關한 研究

柳晟基·盧龍\*·金泰玉\*·廉哲滿\*·曹興進\*\*·曹成旻\*\*\*

中國 重慶大學 機械傳動國家重點實驗室訪問學者,  
慶尙大學校 機械航空工學部 航空機部品研究所·

\*中國 延邊大學 理工學院· \*\*中國 重慶大學校 機械傳動國家重點實驗室·

\*\*\*慶尙大學校 大學院 機械設計學科

## 1. 서론

기어는 동력전달장치에 가장 많이 사용하고 있는 핵심부품이며, 산업발달과 함께 출력향상과 동력전달의 효율을 증가시키기 위하여 소형화, 경량화, 저진동, 저소음화, 저비용, 고강도 및 내마모성이 높은 기어를 요구하고 있다.

이 요구를 만족시키기 위한 기어 표면경화 처리방법에는 전통적인 침탄열처리방법 외에 날로 발전하고 있는 여러 가지 표면개질기술이 폭넓게 응용되고 있다.

플라즈마 이온주입 PSII(plasma source ion implantation)법은 주입하고자 하는 물질을 기체상태로 플라즈마를 형성시킨 후, 처리하고자 하는 소재에 고전압의 바이어스(bias)를 인가함으로써 플라즈마 중의 양이온들이 200℃에 불과 한 낮은 온도에서 소재의 표면 충돌/주입되며 소재주위에 플라즈마피복(plasma sheath)이 형성되며 이온들은 소재의 모든 표면에 입사/충돌을 일으키게 되므로<sup>1)</sup> 2차원적인 공정의 한계를 극복할 수 있는 3차원적인 공정으로 처리해야 하는 표면적이 넓고 표면형상이 복잡한 경우에도 쉽게 적용이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 볼 베어링, 구멍의 내부표면 등 형상이 복잡하고 크기가 다양한 경우 증착할 수 있는 우수한 방법이다<sup>2)</sup>. J. C. Jiang<sup>3)</sup> 등은 재료 표면에 W-DLC 박막을 증착시켜 코팅이 내마모성에 미치는 영향을 고찰하였다.

본 연구에서는 항공기, 자동차, 오토바이, 일반산업 기계 등에 널리 사용되고 있는 기어재료인 SCM415 합금강을 시험편재료로 선택하여 PSII법으로 시편표면에 C-N박막을 증착시켜 PSII 코팅층의 특성과 모재경도, 박막층 두께, 표면조도 등이 임계하중에 미치는 영향을 고찰하고, C-N코팅과 TiN코팅의 마찰계수와 임계하중을 구하였다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2.1 시험편

본 연구에서 사용한 시험편은 기어재료에 널리 사용하고 있는 KSD규격인 SCM415 강을 사용하였다. 시편의 크기는 지름이  $\varnothing 30\text{mm}$ 이고 두께가 10mm인 디스크형으로 가공하고 플라즈마 이온주입시험기와 물리증착시험기를 사용하여 C-N박막과 TiN박막을 증착하였다.

## 2.2 시험방법

시험편표면에 플라즈마 이온주입시험기(PSII-EX)를 사용하여 고경도 박막층을 증착시켰으며, Fig. 2-1에 나타낸 바와 같이 볼 온 디스크타입으로 상온, 상압, 무윤활유 상태에서 마찰·마모시험을 수행 하였다. 실험조건은 미끄럼속도를 100mm/sec로 항상 일정하게 하고 하중은 50, 100, 150N으로 변화시키면서 실험을 하였다.

본 실험에서는 가장 많이 사용되고 있는 굽기시험법을 이용하여 박막층이 파괴되는 임계하중을 구하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 SCM415의 경도에 따른 접착강도의 변화

열처리공정을 변화시켜 SCM415 시험편의 표면경도를 42, 48, 55, 61, 65HRC되는 시험편을 제작하였고, Fig. 3-1은 SCM415모재의 경도에 따른 임계하중변화를 나타냈다.

Fig. 3-1에서 알 수 있듯이 모재경도가 증가함에 따라 임계하중이 증가하는 경향으로 나타났다.

이것은 박막이 연한 모재위에 증착되면 얇은 얼음이 연한 땅에 덮인 듯이 힘을 받으면 모재국부에 소성변형이 발생 할 수 있으므로 파열현상이 일어나 박막층이 이탈함으로써 임계하중이 감소하는 반면 박막이 경한모재에 증착되면 얇은 얼음이 시멘트바닥위에 덮인 듯이 파열되기 어렵고 임계하중이 형성되기 마련이다. 실험결과는 Hedebqvist<sup>4)</sup>의 실험결과와 일치하였다. 또한 모재경도의 증가에 따라 소성변형의 저항력이 증가하여 박막층의 굽힘정도가 감소하면서 박막층이 더욱 높은 하중하에서 파열, 이탈현상이 일어나기 때문이다.

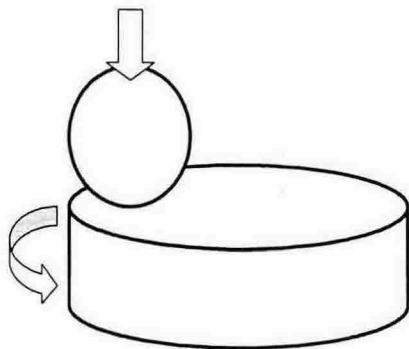


Fig. 2-1 Schematic illustration of ball on disc type wear tester

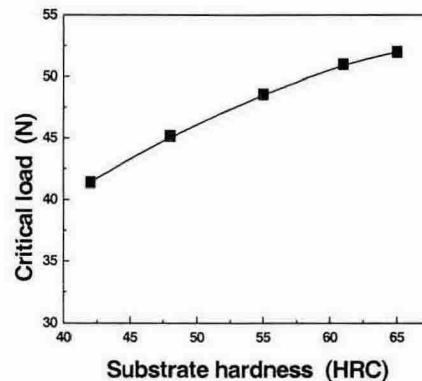


Fig. 3-1 The relationship between the critical load and substrate hardness

### 3.2 C-N박막두께에 따른 접착강도의 변화

C-N박막층의 두께가 임계하중에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 본 실험에서는 플라즈마 이온주입시간을 조절하여 C-N박막두께를 0.6, 1.1, 1.7, 2.4, 3.1 $\mu\text{m}$ 가 되는 시편을 제작하였다. 박막층의 두께측정은 광학현미경을 사용하여 측정하였다.

Fig. 3-2에서 알 수 있듯이 C-N박막층의 두께가 증가함에 따라 임계하중도 증가하는 경향으로 나타났다. 이것은 두께의 증가에 따라 변형저항력이 증가한 것으로 생각된다<sup>5,6)</sup>.

### 3.3 모재표면조도에 따른 임계하중의 변화

본 실험에서는 그라인딩과 폴리싱을 하여 표면조도가 0.2~1 $\mu\text{m}$ 되는 실험 디스크를 제작하여 같은 조건하에서 디스크 표면위에 두께 3 $\mu\text{m}$  되는 C-N박막을 입혀 임계하중을 측정하였다. Fig. 3-3에 나타난 바와 같이 시편모재의 표면조도가 좋을수록 임계하중이 증가하였으며, 표면이 거칠수록 임계하중이 다소 감소하였다. 이것은 표면이 거칠수록 응력집중이 발생하기 쉽고 보다 작은 하중하에서도 박막층과 모재표면 사이에 큰 전단력을 받으면서 박막층이 파괴되고, 모재표면이 거칠수록 파괴현상이 더욱 쉽게 발생하기 때문이라고 생각된다.

### 3.4 하중에 따른 마찰계수의 변화

Fig. 3-4의 (a)와 (b)는 50N의 수직하중과 100mm/sec의 미끄럼속도에서 두께가 3.1 $\mu\text{m}$ 인 TiN박막과 C-N박막층에 대한 마찰계수의 변화를 나타낸 그림이다. Fig. 3-4(a)에서 TiN박막층의 평균마찰계수는 0.364로서 Fig. 3-4(b)의 C-N박막층의 평균마찰계수 0.192보다 높게 나타났으며, C-N박막층의 마찰계수의 변화는 TiN박막층의 마찰계수의 변화보다 더 안정적으로 나타났다. Fig. 3-5은 각 시험편에 대한 수직하중의 변화에 따른 마찰계수의 평균값을 나타낸 그림이다. 수직하중을 50, 100, 150N으로 주었을 때 C-N박막층의 평균마찰계수는 0.192, 0.166, 0.153으로 나타났으며, TiN박막층의 평균마찰계수는 0.364, 0.327, 0.302로 나타났다. 여기서 마찰계수는 하중의 증가에 따라 다소 감소하는 경향으로 나타났다. 동일하중일 때 C-N박막층의 마찰계수는 TiN박막층의 마찰계수보다 작게 나타났다.

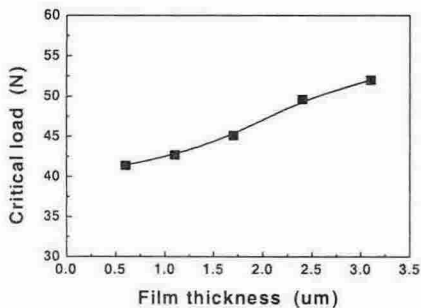


Fig. 3-2 The relationship between the critical load and film thickness

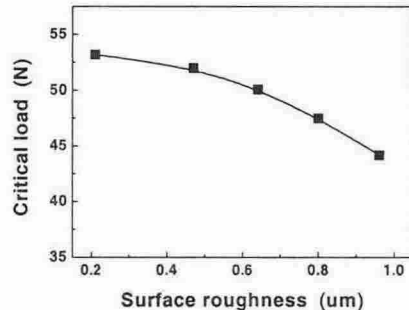
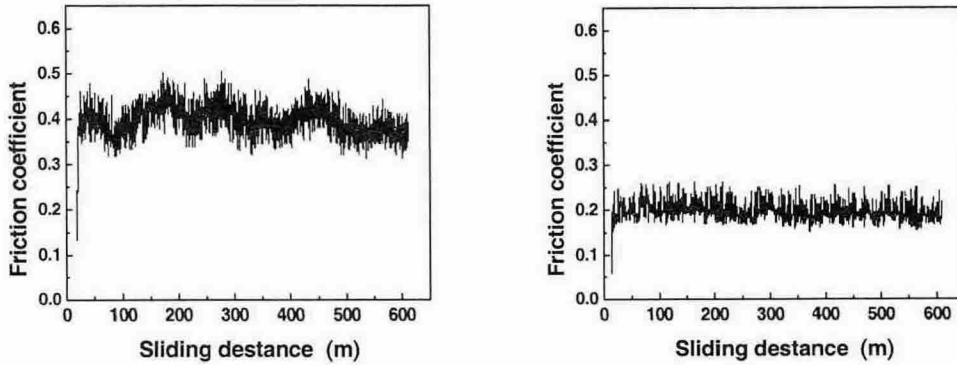


Fig. 3-3 The relationship between the critical load and roughness



(a) Thickness of TiN film=3.1 $\mu$ m, Load=50N (b) Thickness of C-N film=3.1 $\mu$ m, Load=50N

Fig. 3-4 Friction coefficient of specimens as a function of sliding distance

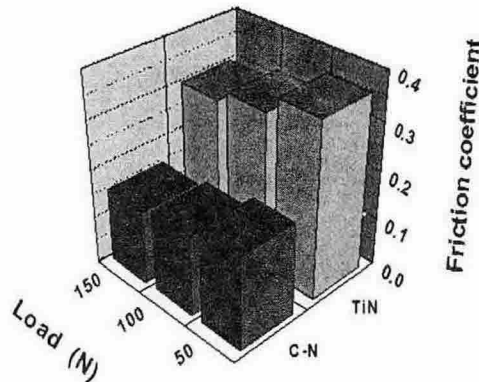


Fig. 3-5 Comparison of friction coefficient for specimens of TiN and C-N at different load

Fig. 3-5에 나타난 바와 같이 여기서 마찰계수는 하중의 증가에 따라 다소 감소하는 경향으로 나타났으며, 동일하중일 때 C-N박막층의 마찰계수는 TiN박막층의 마찰계수보다 작게 나타났다.

응착이론에 의하면 응착마모과정에서 마찰계수는 아래식과 같이 표시한다.

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma_s} \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $\tau$ 는 두 접촉표면의 응착전단강도,  $\sigma_s$ 는 마찰표면의 항복강도이다.

질소를 SCM415강 표면에 주입한 후 표면을 강화시킴으로써 마찰표면의 항복강도를 향상시키는 한편 가는 입자형질화물을 생성함에 따라 연한 페라이트(ferrite)의 연속성을 파괴하므로 마찰하는 두 표면의 접촉력을 감소시킨다. 즉  $\tau$ 를 감소시켜 마찰계수를 현저하게 감소시키면서 내마모성이 향상된 것으로 생각된다.

### 3.5 코팅층의 경도

본 연구에서는 시험편의 박막층경도를 측정하기 위하여 마이크로 비커스 경도시험기를 사용하여 측정하였다. 코팅층의 경도측정에서 모재의 경도가 낮은 영향을 배제하기 위하여 마이크로 비커스 경도의 작용하중을 가능한 작게 하여 0.1~1.0N의 범위에서 측정하였다. 경도측정의 정확성을 위하여 시험편 종류에 따라 하중을 같게 하였으며, 시험편마다 5회씩 측정하여 그 평균값을 구하였다. C-N박막과 TiN박막의 마이크로 경도를 Fig. 3-6에 나타냈다.

Fig. 3-6에 나타난 바와 같이 0.1N 하중에서 C-N박막의 비커스 경도치는 3200Hv로 나타났으며 TiN박막의 마이크로 비커스 경도값은 2090Hv으로 나타났다. 동일하중에서 C-N박막의 마이크로 비커스 경도가 TiN박막의 마이크로 비커스 경도보다 32~43% 높게 나타났다.

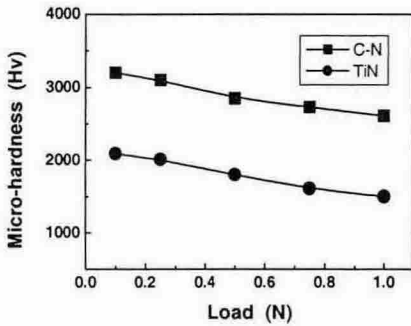


Fig. 3-6 The relationship between the microhardness of specimen surfaces and loads

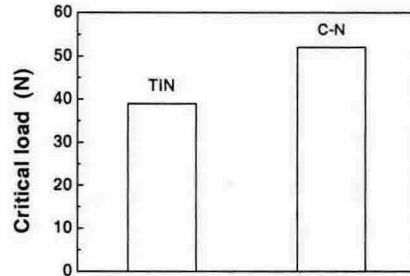


Fig. 3-7 Comparison of critical load for specimens of TiN and C-N film

### 3.6 C-N박막과 TiN박막의 임계하중

굽기시험법을 이용하여 C-N박막과 TiN박막의 임계하중을 비교하였다. Fig. 3-7에 나타난 바와 같이 C-N박막의 임계하중이 TiN박막보다 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 C-N박막의 비커스경도가 높을 뿐만아니라 모재의 경도가 높기 때문이라고 생각된다. 모재의 경도가 높을수록 박막에 대하여 지지력이 강화되면서 높은 접촉강도를 가질 수 있다. 그리고 접촉강도가 높아짐에 따라 내마모성도 높아진다는 것을 관찰할 수 있다<sup>7)</sup>.

## 4. 결론

본 연구에서는 SCM415합금강 시험편에 침탄열처리와 C-N, TiN박막 코팅을 시켜 상온, 상압 및 무운활상태에서 볼 온 디스크타입 마찰·마모시험기와 굽기시험기로 시험의 마찰·마모실험을 하여 모재의 경도, 표면조도, 박막층의 두께 등이 임계하중에 미치는 영향과 코팅층과 모재와의 접촉강도를 구하였다. 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 모재경도와 C-N박막층의 두께가 증가할수록 임계하중이 증가하였다. 그리고 표면 조도가 거칠수록 임계하중이 감소하였다.
- (2) C-N 박막과 TiN 박막의 마찰계수는 하중의 증가에 따라 다소 감소하는 경향으로 나타났고, 동일한 하중일 때 C-N 박막층의 마찰계수는 TiN 박막층의 마찰계수보다 작게 나타났다.
- (3) C-N 박막의 최대 비커스 경도값은 3200 Hv로 나타났으며, TiN박막의 경도 보다 32~43% 높게 나타났다. C-N박막의 임계하중은 TiN박막의 임계하중보다 약 25% 높게 나타났다.
- (4) 플라즈마 이온주입법으로 C-N코팅을 한 경우 경도는 모재보다 61~70% 증가되었으며, 마찰계수는 14~50% 감소되었다. 또한 C-N박막층의 마찰기구는 응착마모로부터 산화마모로 변화되는 것이 관찰되었다.

이 논문은 中國 重慶大學 機械傳動國家重點實驗室 訪問學者經費支援, 2004年度 地方大學革新力量強化事業, BK21, 航空機部品技術研究中心의 支援에 依해 研究되었으며 이에 感謝드립니다.

## 참고문헌

- [1] J. R. Conrad, A. Dodd and F. J. WorzalaX. Qiu, "Plasma Source Ion Implantation: A New, Cost-Effective, Non-Line-of-Sight Technique for Ion Implantation of Materials", Surf. & Coat. Tech., Vol. 36, pp.927-937, 1998
- [2] Z. M. Zeng, T. K. Kwok, X. B. Tian et al., "Plasma Immersion Ion Implantation into Inner and Outer Races of Industrial Bearings", Surf. & Coat. Tech., Vol. 120-121, pp.663-667, 1999
- [3] J. C. Jiang, W. J. Meng, A. G. Evans et al., "Structure and Mechanics of W-DLC Coated Spur Gears", Surf. & Coat. Tech., Vol. 176, pp.50-56, 2003
- [4] P. Hdenqvist, M. Olsson and S. Jacobson, "Failure Mode Analysis of TiN-Coated High Speed Steel: In Situ Scratch Adhesion Testing in the Scanning Electron Microscope", Surf. & Coat. Tech., Vol. 41, pp.31-49, 1990
- [5] D. S. Richerby, "A Review of the Methods for the Measurement of Coating-Substrate Adhesion", Surf. & Coat. Tech., Vol. 36, pp.541-557, 1988
- [6] S. H. Bull, D. S. Rickerby, "The Use of Scratch Adhesion Testing for the Determination of Interfacial Adhesion: The Importance of Frictional Drag", Surf & Coat. Tech., Vol. 36, pp.503-517, 1988
- [7] B. J. Kim, Y. C. Kim, D. K. Lee et al., "The Effect of NH<sub>3</sub> Plasma Pre Treatment on the Properties of TiN Coatings Produced by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition", Surf. & Coat. Tech., Vol. 111, pp.56-61, 1999